

**Aussois 2006**

# **Chronologie de la formation du Système Solaire**

## **II. Les premiers solides**

**Ecole de formation permanente du CNRS**

**Programme détaillé des cours**

---

### **Introduction**

**Présentation de l'école & aspects logistiques (T. Guillot 8h30-8h45)**

**Introduction astrophysique (Thierry Montmerle 8h45-10h15):**

- Rappel des conclusions de l'école d'Aussois 2004
- Evolution du sujet ces deux dernières années

**Introduction géochimique (Marc Chaussidon 10h45-12h30):**

- Revue de l'évolution du domaine géochimie / chronologie isotopique ces deux dernières années
- Introduction aux cours de l'école sur ce sujet

---

### **Composition et formation des premiers solides du Système Solaire (~10h)**

**Guy Libourel, Marc Chaussidon & Herbert Palme**

- Introduction à la minéralogie des météorites
- Classification des météorites primitives
- Composants des chondrites (composition minéralogie, chimique et isotopique)
  - les inclusions réfractaires
  - les chondres
  - la matrice
- Apport des micrométéorites et des IDPs
- Modes de formation des inclusions réfractaires et des chondres
- Origine des chondrites
- Implications sur les conditions de formation de la nébuleuse protosolaire.

---

### **Compositions dans le Système Solaire (~4h)**

---

## **La composition du Soleil (Nicolas Grevesse)**

- Introduction
- Intérêt
- Un peu d'histoire
- Les différentes sources des abondances solaires
- Le spectre de la photosphère
- Méthodes de détermination des abondances
- Modélisation de la photosphère: 3D vs. 1D
- Données atomiques et moléculaires
- Les nouvelles abondances photosphériques :
  - + C N O
  - + Na - Fe
  - + les autres éléments (He, Li Be B, Ne,  $Z > Fe$ )
- Commentaires sur les résultats et comparaisons avec d'autres sources
- Implications diverses (hélioséismologie, ...) des nouvelles abondances

## **La composition des astéroïdes & comètes (Dominique Bockelée)**

- 1) Les mesures
  - Les techniques de mesure: spectroscopie, photométrie et mesures in situ
  - Composition moléculaire et isotopique des volatils cométaires
  - Composition des grains cométaires
  - Taxonomie des astéroïdes et spectroscopie
  - Etudes de composition des objets trans-neptuniens
- 2) Les contraintes sur la formation du Système Solaire, notamment:
  - Connexions astéroïdes/météorites
  - Altération aqueuse des astéroïdes
  - Connexions matière cométaire et matière interstellaire
  - Contraintes isotopiques
  - La minéralogie des silicates et leur cristallinité

## **La composition des planètes géantes (Daniel Gautier)**

Spectroscopie des atmosphères planétaires

Les composants majeurs: hélium, eau, méthane, ammoniac, sulfure d'hydrogène

Les composants mineurs: en équilibre ou déséquilibre chimique

Les isotopes.

---

## **Les disques protoplanétaires: théorie (~6h)**

---

### **L'évolution des disques protoplanétaires (Tristan Guillot)**

#### **1) Les briques élémentaires**

Rotation keplerienne, conservation du moment cinétique, diffusion turbulente et équation d'évolution

Le transport du moment cinétique: instabilités magnétorotationnelle, hydrodynamique, gravitationnelles

Bilan énergétique: dissipation visqueuse & chauffage stellaire

## 2) Petite histoire des disques protoplanétaires

L'effondrement d'un nuage moléculaire

L'évolution visqueuse: l'accrétion stellaire et l'étalement du disque

La fin de vie du disque de gaz: évaporation et effets de marée

## 3) Applications

Structure thermique des disques: influence sur la chimie des grains

Zones de formation planétaire: évolution de la ligne de glace

La formation du Système Solaire: un scénario d'évaporation modérée

## **Les couplages gaz/solides, la croissance des grains & formation des planétésimaux (Paolo Tanga)**

### - La croissance des grains

processus élémentaires

expériences de laboratoire

modèles statistiques

### - Interaction solides - gaz

modèles et approximations

exemples, écoulements 2D et 3D

quelques propriétés universelles

### - La sous-couche des grains de poussière dans un disque:

sedimentation

diffusion radiale

role de la diffusion turbulente

équilibre?

instabilité turbulente?

### - L'instabilité gravitationnelle de la sous-couche de poussières

une sous-couche homogène?

sources d'inhomogénéité

---

## **Les disques protoplanétaires: observations & interprétations physiques (~10h)**

---

**Emmanuel Dartois, Antonella Natta et Anne Dutrey**

### **Composition et évolution des grains (Emmanuel Dartois)**

Processus physiques de base dans les disques protoplanétaires

Les flux UV, X

L'observation des disques: quantité de gaz et de grains, températures, composition chimique & tailles des grains

Le chauffage des grains, et le rôle de l'irradiation UV, X et des rayons cosmiques

L'évolution des grains

Description des processus de désorption, absorption, collisions, cristallisation...etc.

L'évolution des grains et le couplage avec le gaz; la croissance des grains

Les compositions des grains (incluant les PAHs) dans les disques et dans les objets plus jeunes

**Observed properties of the inner disks (Anne Dutrey / Stephane Guilloteau)**

General models used to characterise the SEDs (puffed-up rims models, etc...)

New constrains given by optical/Mid-IR interferometry, Spitzer observations

On disk composition (gas & dust), on geometry and physics of the 10 central AU and interaction with the star.

**Propriétés observées des disques externes (Stéphane Guilloteau)**

Composition en gaz et poussières des disques externes (>30 AU)

Contraintes en longueur d'ondes

**Des disques protoplanétaires aux disques planétaires (Anne Dutrey)**

Tentative de résumé des propriétés observées & mise en lumière de la cohérence & des incohérences de la classification et du schéma d'évolution actuel.

---

**Conclusions (~1h)**

---

**Alessandro Morbidelli**